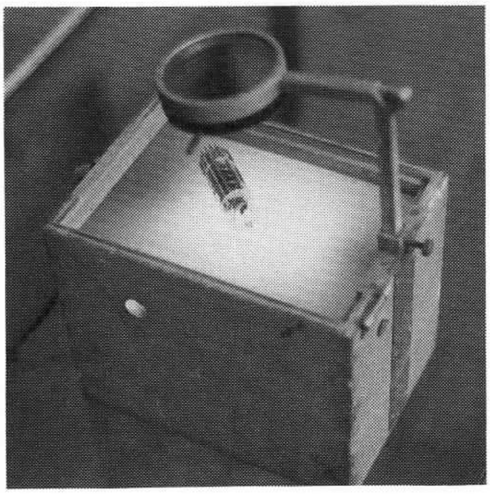
No. 3 ガラスバルブの試験とチェック

真空管製造学入門

小口貴仁 Oguchi Yoshihito



ガラス歪み検査器．上部の丸い2枚の偏光板を回して偏光角を変化させて観測する

前回までは，真空管を構成する材料，加工，処理，構造物について，高真空を維持する目的からと，陰極から効率良く電子放射を持続させるためのエミッターの活性化，枯化についてご紹介しました．

真空管の材料からの吸蔵ガス放出のため，水素炉，真空熱処理，加工中の熔接による酸化被膜の除去，排気中に行われる高周波加熱による排気，真空度が得られてからのフィラメント点火によるエミッターの分解，蒸発するエミッターのバインダー（ニトロセルローズ），水蒸気など，ボリュームの大きなものは排気装置でないと除去できません．

封止後は，ゲッターの吸着に期待することになります．外囲器はガラスバルブが一般的，気密を保つ重要なバリアです．

1. ガラスバルブ

ガラスバルブは真空管内に発生する熱を透過させると同時に，それ自身熱を吸収して著しく温度上昇します．

ガラスバルブは，熱すれば無限にガスを発生する性質があります．排気操作の際にヒーターボックスをかぶせて，ガラスバルブを外側から 300～450℃ で，長時間加熱して十分にガス放出を行わなければなりません．

ガラスから発生するガスの大部分は水蒸気で，炭酸ガス，窒素，水素などが混じっています．ガラスを徐々に加熱すれば，150℃ で吸着ガスおよび H_2O の大部分が除かれます．300℃ 以上では単分子水被膜および表面に溶解されているガスが排出されます．

さらに高い温度では，軟質ガラスの場合 400℃ 以上，硬質ガラスの場合 500℃ 以上で一層多くのガスを放出します．

真空管の使用中に起こる陰極の電子放出不能は，往々にしてガラスの過熱にもとづく，ガスの発生に起因することがあります．

特にクラシックなバルブ形態の大型ナス球，しかも細いフィラメント直熱真空管で，点火温度の高いタイプでは，ガラス温度の過熱が起こりやすく，規定以上の負荷を与えない注意が肝要です．

自作セットの場合，特に配列，配置に注意し，放熱のための通風に十分配慮した設計が必要です．自作セットだからできることなのです．以前ある有名メーカー製のハイブリッドアンプと称した商品では，半導体と真空管が使われ，段間に双3極管9ピン真空管が使われていました．フロントパネルの中央より少し右に中が見える透明なパネルがあり，上下2段の MT 管が水平に差し込まれ，動作時にはカソードが赤く輝き，真空管の存在が感じられます．各プレートは水平位置，グリッドも長手方向に水平です．この配置では真空管がかわいそうです．上方の真空管は温度上昇してしまいます．

真空管の赤熱したフィラメントや傍熱管の赤熱したカソードは，LED のような表示灯ではないのです．真空管アンプにファンを付け，低速で回転させることも自作マニアの楽しみではないでしょうか．ファンを静かに回すことも必要です．

硬質ガラスバルブは高周波に対する誘電体損失が小さいことなどから，大型送信管に多用されます．まれに水晶が使われることもあります．高耐電圧，高温度に耐える

ことから，構造物の支えにセラミックを使うこともあります．

ガラスバルブに代って，強度，放熱性，排気処理後ガス発生の少ない金属外囲器に守られたメタルチューブもありますが，構造物が見えないことや，ガラスバルブの形態を楽しむこともあって若い人には人気が薄いようです．

2. 真空管の測定

店頭で買うためそっと手に取り観察するとき，どんな事柄を頭に浮かべてみたら良いのでしょうか．製造された真空管がどんな測定を経て市場に出てきたかを知るため，測定の役立て方を考えてみます．

製造する側での役立ては，研究試作時の評価，設計性能の確認，試作時のバラツキ，不良や事故品の原因追求，材料や製作方法の変更に伴う性能への影響や変化，設けられた品質規格に合格するかなどですが，使う側はどうでしょうか．使用上十分な品質を満足するか，抜き取って調べます．また製品の受け入れ試験，用途によって選別して使う必要があるとき，その性能を測定し選別して使います．

使用中，時々性能を測定して保守基準を満足するかどうかを調べます．寿命を事前に予知するため，一定時間ごとに必要な性能測定をします．規定に明示してある以外の性能が，機器の設計，製作，使用，保守などに必要なときはサンプリングして測定します．

現在販売されている製品はどうでしょうか．一定の規格で合格するものだけを売っているようです．品質保証をするため，在庫中に性能が変化していないか，返品の場合や搬送中の性能の変化などをチェックしています(**写真1**)．

測定の場合，現在では前号のような試験機がよく使われているようです．

3. 試験の種類とその目的

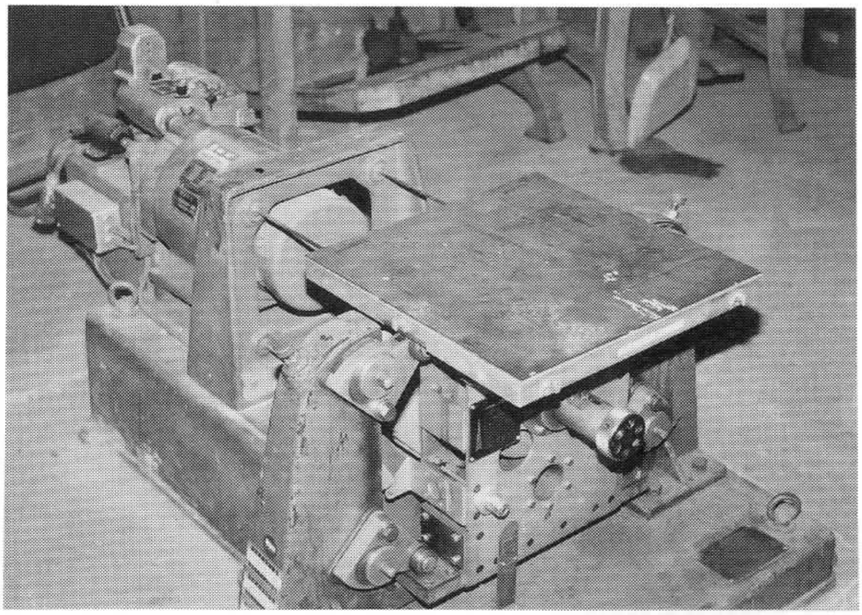
一定の規格を設けておいて，それに合格するかどうかを測定によって判定することを，一般に試験と呼んでいます．そして大別すると，初めて設計製作した品種について性能を詳細に調べ，所定の目標に達しているかどうかを調べる「型式試験」．また設計変更，材料や工程，設備などが変わったとき製品の品質が変化していないかどうかを確かめるために随時行う試験で，型式試験に次ぐ厳重な試験ですが，変わるはずのない性能についての項目を省略した「設計試験」があります．平常に製造され，工程のバラツキなどがわかっている製品のロットでは，個々の製品の合否を試験します．項目もごく限られた「製品試験」があります．これらの試験は，製造側で行う場合が多いのですが，使う人達も受入試験，検定試験などに試験項目を決め，これに準じて行うこともできます．

4. 真空管の使用目的と測定項目

実際の測定項目は，使用目的に必要なものだけを選び出して測定を行えば十分だと思います．

低周波増幅回路であれば，電気的な性能としては，静特性，歪率，雑音などが重要なものと考えられます．高周波の増幅器の場合は，電極間静電容量，入力インピーダンスなどが，超高周波増幅回路などでは，入力インピーダンス，出力などの周波数特性が重要なものと考えられます．これらは真空管の全盛時代，試験項目の選定に対する要素だったと思います．

用途拡大で重工業的な用途については，特性の均一性や安定度，



真空管は落下テストのほか，各方向からの振動テストを行う．梱包材料や方法など搬送によって性能が変わらないか，試験機を用いてテストする．

［写真1］ 振動試験機

に寸法検査をして記録を保存します.

(4) 導入線，ピン位置，寸法

MT管などの場合は導入線，ピン位置が正確になっていないとソケットに差し込まれたときの歪力によって破損し，リークすることがあります．ピンの位置，寸法の測定は，ピン全部がゲージに嵌め込まれるときの圧力と，引き抜くのに必要な張力を，スプリング秤で測定して，その値が規定の範囲にあることを確かめるようにしていますが，全品には実施しません(**図1〜3**)．ステム製造時は精密な型によって自動的に作られていますが，バルブと接続されたり何回も熱を受けるので，歪みが出てきます．真空管については正確に行われていますが，ソケットについては寸法の狂いや，取り扱いが不適当なためにMT管のピンはよく曲がってしまうことがあります．定められた整形具を使って，ピンを正しく整形してから使うようにすれば安心です(**写真3**).

2) 機械的な強度

(1) ガラス部分の歪み検査

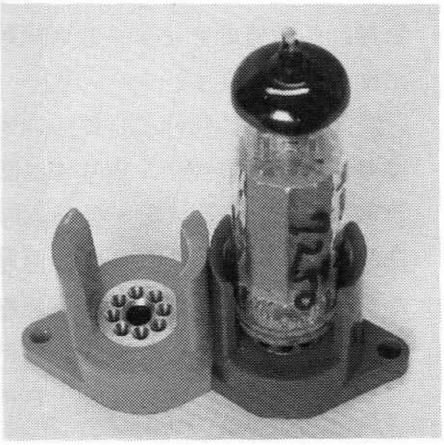
真空管ではガラス部分の割れによる故障がかなり大きな部分を占めています．原因となる歪みについては厳重に検査する必要があります．真空管の製造ではガラス部分を加熱溶解する作業や，金属材料と接合される部分もあって，どうしても歪みが残ってしまうことが多いのです．歪みがある限度を超していると割れるので，歪み程度を測定する必要があります．光は歪みの程度に応じて曲がるので，偏光板を回転し，直行する光と曲げられた光の角度を調べ，偏光角を測定します(**写真4**).

偏光角にあらかじめ，ある回転を与え，その回転角が光の波長によって異なることから，歪みの状態が色の変化によって現れるようにした検査器があります.

ガラス管の両端を固定し，中央から力を加えて押し曲げながら偏光によって色具合を同質の材料で比較すれば，許容できる歪み程度がわかります(**写真5**).

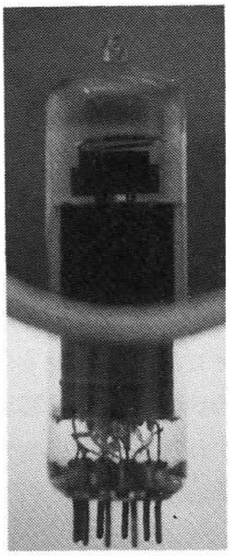
(2) 導入線，ピンの強度

製造側で品質管理のため，行われる試験です．MT管のステム強度試験では，ピンを少し拡げるように所定の金属円錐体をステムに取り付けた状態で，定められた個数の供試管を沸騰水の中に投入し，十分に加熱されたものを空中に取り出し，放置することを何回か繰り返し，ステムにクラックのできる割合を調べてステム強度の試験



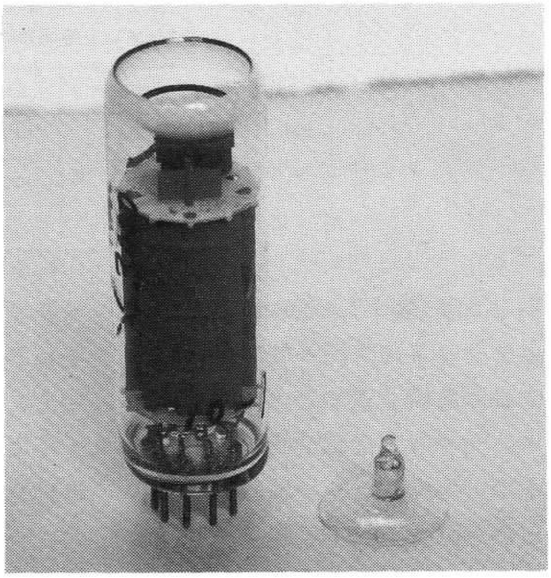
MT管のピンの狂いや曲がりを補正したり，ステムとバルブの融着部分の外径のチェックが同時にできるゲージ．左が7P，右が9P用．6BQ5が挿入されている．ソケットとの接続が良くなるだけでなく，ステムクラックの防止になる．

[写真3] MT管ステムピン整形治具



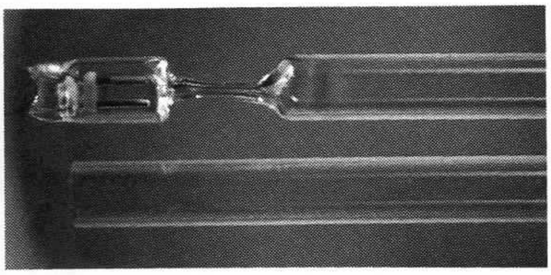
MT管頭部の歪み．排気管を溶着した部分なので歪みが残りやすい．

[写真4-a] ガラス歪み検査器によるチェック



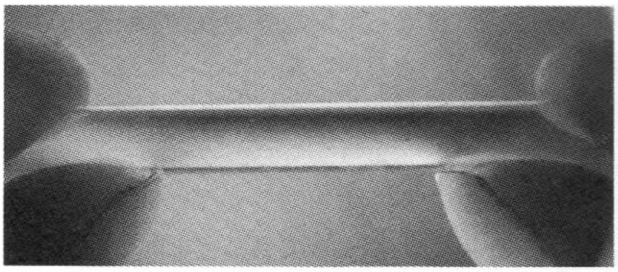
わずかな熱ショックで歪み部分からきれいに割れた．

[写真4-b] 歪みによる破損例



加工しないガラス管は歪みもなくきれい(下)．加工品のリング状の黒い部分が加工部分から転移した歪みの部分．リード線の引き出し部分にも歪みが見える．

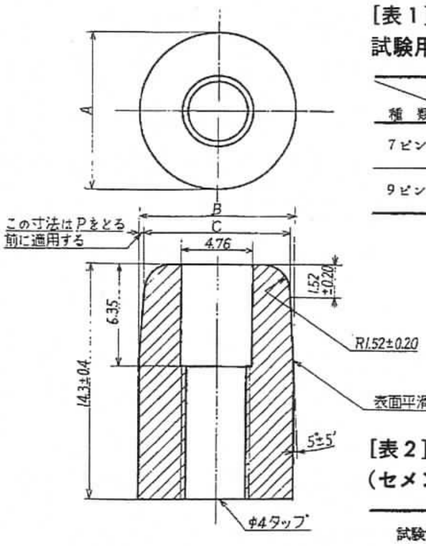
[写真4-c] ネオン管の排気管の熱加工部分



ガラス管を指で曲げようと力を加えたとき歪みが発生する（黒い部分）．上は伸びに対して縮もうとするが，下は圧縮しようとする力に対し元に戻る力が働き，互いに発色が異なる．

［写真5］ ガラス管の歪み

［表1］ ミニアチュア管のベース歪み試験用コーン(C 7111)



単位 mm

寸法 ＼ 種類	A	B	C
7ピン mT 用	9.53 ± 0.03	8.51 ± 0.03	8.26 ± 0.03
9ピン mT 用	11.90 ± 0.03	10.87 ± 0.03	10.62 ± 0.03

このコーンに供試管を取り付け，97°C 以上の沸騰水に 10 秒間浸した後，取り出して室温で 48 時間放置し，空気もれやクラックを調べる．

［表2］ ベースの取り付け強度（セメント使用の場合）

試験箇所	最大部直径	ねじりモーメント kgf·cm{N·m}
ベース	16.5 mm 未満	14{約 1.4}
	16.5 mm 以上	23{約 2.3}
キャップ	—	18{約 1.8}

をします(**表1**)．これは精度の悪いソケットに，MT 管を取り付けて動作を繰り返すことに似ています．ソケットは真空管を保持するだけでなく，ピンを通して電極から熱を引き出して放熱を繰り返すのでピン接触片は段々にそのバネ作用が弱くなります．良質ソケットを選択するのはこのためです．

(3) 口金の強度

ST 管，GT 管のように口金（ベース）を付けたものでは，その強度が問題になります．ベースピンを差し込む，ソケットのような孔のあいた厚手の円板に厚み部分に軸を取り付け，ちょうど縁日のべッコウ飴の棒のようになったところにおもりを付けます．おもりは中心に孔をあけて棒を軸に移動できるようにすれば，飴に相当する部分を手で持ったとき，ひねりの強さが変わります(**表2**)．これに真空管を取り付けてある定まった時間放置，または水中に入れ，引き上げ後ひねり試験を行って，口金の耐久性を確かめることができます．アームの長さと，おもりで回転力が定まるので規定できます．

3) 熱に対する測定と試験

(1) 冷熱試験

急冷，急熱に対して耐える度合を試す試験で，普通は沸騰した水と，0°C の冷水に交互に漬けて行います．

(2) 口金耐熱試験

口金にベークライトその他の成形品を使った場合に耐熱度をみる試験で，ベークライトの場合には 165°C で20分間，炉の中に入れ前後の外観の変化，電気的特性の変化を測定します．

(3) 温度上昇の測定

真空管の動作中や試験中に各所の温度上昇を測定する必要があります．このときは水銀，アルコール寒暖計，熱電対などを使って行われますが，これらを取り付けることによって冷却に支障あるときや，高周波電界に影響を及ぼすような場合は，放射熱線式の温度計やサーモラベルによる発色変化により温度を測ります．このほか特殊管や送信管に対する項目や，圧力に対する試験，包装に対する試験などがあります．

現在のように真空管を使うことが受身的であったり，保存期間が相当年月を経たものなど，その利用前に外観からの内部観察により得られる情報でチェックしていただけると思います．

次回は電気的特性測定について進めていく予定です．真空管に関する規格は，従来 CES 規格から JIS 規格，JIS 電気 C7000 ～となりましたが，現在すべて廃止となっています．

【協力】 岡谷電機産業㈱

【参考文献】

1) エスペ・クノール共著・船曳春吉訳：真空管材料学，有隣堂出版，昭和20年．
2) 浜田成徳：真空管工学，コロナ社，昭和22年．
3) 西尾秀彦：電子管測定，コロナ社，昭和30年．